



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **02234411 A**(43) Date of publication of application: **17.09.1990**(51) Int. Cl. **H01L 21/027**
G03F 7/20(21) Application number: **01054471**
(22) Date of filing: **07.03.1989**(71) Applicant: **NIKON CORP**
(72) Inventor: **SUWA KYOICHI**(54) **PROJECTION EXPOSURE APPARATUS**

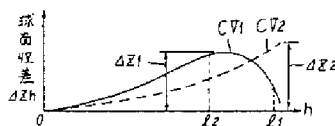
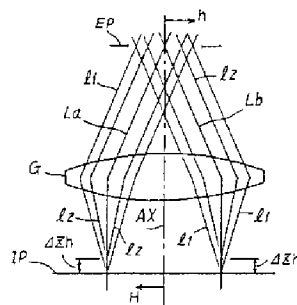
(57) Abstract:

PURPOSE: To transfer fine patterns without extreme increase of the number of openings of a projection optic system and extreme reduction in wavelength of illuminating light by a method wherein the projection optic system for projection exposing a mask pattern on a wafer is provided with specific spherical aberration characteristics in advance.

CONSTITUTION: When a light beam which passes through the most outward part in an iris EP is assumed to be I_1 and a light beam which passes through the most inward part is to be I_2 , deflection δZ_h along an optical axis between a focus with the light beam I_1 (on image surface IP) and that with the light beam I_2 is spherical aberration. This spherical aberration is made to be generated to a certain degree. In other words, where widths of aberration δZ_1 , δZ_2 with characteristics CV_1 , CV_2 are spherical yields on the respective points on the image surface, focus depth can be increased by increasing the width δZ_1 or δZ_2 . Although contrast

characteristics slightly deteriorate by the above operation, wide focus depth can be secured, thereby enabling transfer of fine patterns without increase in the number of openings and reduction in wavelength of the light.

COPYRIGHT: (C)1990,JPO&Japio



⑫ 公開特許公報(A) 平2-234411

⑬ Int. Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成2年(1990)9月17日

H 01 L 21/027
G 03 F 7/20

5 2 1

6906-2H
7376-5F

H 01 L 21/30

3 1 1 L

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全7頁)

⑮ 発明の名称 投影露光装置

⑯ 特 願 平1-54471

⑰ 出 願 平1(1989)3月7日

⑱ 発 明 者 諏 訪 恭 一 東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式会社ニコン大井
製作所内

⑲ 出 願 人 株 式 会 社 ニ コ ン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

⑳ 代 理 人 弁 理 士 渡 辺 隆 男

明 細 書

1. 発明の名称

投影露光装置

2. 特許請求の範囲

(1) 原画パターンの形成されたマスクを照明系からの照明光で照射し、該原画パターンを投影光学系を介して感光基板上の所定領域へ結像投影する装置であって、

前記投影光学系に、予め所定の球面収差特性をもたせたことを特徴とする投影露光装置。

(2) 前記投影光学系は、ほぼ理想的に無収差に設計して得られる像コントラストを1としたとき、これに対してほぼ0.6～0.8の像コントラストが得られるように前記球面収差の量を設定したことを特徴とする請求項第1項に記載の装置。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は、半導体素子や液晶素子等を製造するために、マスクに形成された原画パターンを感光基板上に投影露光する装置に関するものである。

〔従来の技術〕

半導体素子の製造においては年々微細化と高集積化が進み、1 Mbitメモリ、4 Mbitメモリと増々線幅の細いリソグラフィ工程が要求されてきている。

この要求に答えるべく、現在リソグラフィ工程で使われる露光装置は、縮小投影型露光装置(ステッパー)が主流である。特に原画パターンを有するレチクルを1/5縮小投影レンズで15×15 mm角程度に縮小してウェハ上のレジスト層に露光する方法が多用されている。

このステッパーの投影レンズは年々、解像力を上げるために高開口数(N.A.)化され、露光用照明光の波長が436 nm(g線)のとき、N.A.=0.48程度のものが実用化されている。

このように投影レンズの開口数を大きくすることは、それに応じて実効的な焦点深度が小さくなることを意味し、N.A.=0.48にした投影レンズの焦点深度は、例えば±0.8 μm以下である。すなわち、ウェハ上の1つのショット領域を15

$\times 1.5 \text{ mm}$ 角とすると、この領域全体の表面（レジスト層）が、投影レンズの最良結像面に対して $\pm 0.8 \mu\text{m}$ 以内（望ましくは $\pm 0.2 \mu\text{m}$ 以内）に正確に位置決めされなければならない。

そこで投影レンズの焦点深度の不足に対応するために、投影レンズに対してウェハを光軸方向に変位させつつ、同一レチクルのパターンを多重露光する方法が提案されている。

この方法は、投影レンズのみかけ上の焦点深度を増大させることになり、1つの有効な露光方法である。

〔発明が解決しようとする問題点〕

この多重焦点露光方法は、ベストフォーカスのコントラストは若干低下させるものの、広い焦点範囲に渡ってコントラストを保証しようとするものである。この方法は実験等の結果から、レチクルのパターン面がほとんど暗部（遮へい部）であり、その中に矩形の開口部（透過部）が散在するような、所謂コンタクトホール工程用のパターンに対しては有効であるが、その他のパターン、特

に明暗の直線状のパターンが繰返されるような配線層等のレチクルパターンに対してはコンタクトホールの場合ほどには有効でないのが現状である。

さらに、多重焦点露光方法の最も大きな問題点は、ショット露光中（1つの露光領域に対して最適な露光量が与え終るまでの間）に、ウェハを正確に上下動させる必要があることから、スループットが極端に低下することである。

本発明は、これらの問題点を鑑みてなされたもので、より微細なパターンを投影光学系の開口数の極端な増大、照明光の極端な短波長化を計ることなく転写可能にすることを第1の目的とする。

さらに本発明は、コンタクトホール以外のほとんどのパターンに対しても、多重焦点露光法と同等に見かけ上の焦点深度を広げた効果が十分に得られ、かつスループットが高くなるような装置を得ることを第2の目的とする。

〔問題点を解決する為の手段〕

本発明では、マスク（又はレチクル）のパターンをウェハ上に投影露光するための投影光学系に、

予め設計された球面収差特性をもたせるようにした。球面収差は、従来の装置では単に極力小さくするように設計されていた。

本発明では、球面収差量をウェハ上の感光層に露光された像のコントラストを考慮し、このコントラストを極端に悪化させない範囲で球面収差をもたせるように設計した。

〔作用〕

球面収差を残した投影光学系は、像コントラストの点で若干劣るものの、見かけ上の焦点深度を拡大させることができる。

従来、球面収差を残すことは、像質上のコントラスト低下を招くために極力避けられてきた。しかしながら、高N.A.化された投影光学系が実用的に使える段階になってくると、焦点深度に関する問題がクローズアップされてきた。

この焦点深度に対する要求は、ウェハ上の1つのショット領域表面のわずかな傾斜、うねり、又は凹凸の程度と、焦点深度とが接近してきたことにも原因がある。

〔実施例〕

第3図は本発明の実施例に好適な投影型露光装置（ステッパー）の構成を示す斜視図である。このステッパーの基本構成は、例えば特開昭62-145730号公報に開示されたものと同様であるので、以下簡単に説明する。

露光用光源2からの照明光は、レチクルブラインド（照明視野絞り）等を有する照明光学系4を通り、レチクルステージ6上の1枚のレチクルを照明する。レチクルステージ6には、ここでは4枚のレチクル R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 が同時に載置可能で、x、y方向に2次元移動する。このレチクルステージ6には、位置計測用のレーザ干渉計10からのレーザビームを反射する移動鏡8x、8yが互いに直角に固定されている。レチクルアライメント系12はレチクルのアライメントマーク（レチクルマーク）を検出するとともに、ウェハW上のアライメントマーク（ウェハマーク）も検出可能に設けられる。このため、アライメント系12は4枚のうちの1枚のレチクルを装置に対

して位置決めする場合、あるいはレチクルマークとウェハマークを同時に検出してダイ・バイ・ダイアライメントする場合の両方に利用できる。尚、第3図ではアライメント系12は1ヶ所にしか設けられていないが、各レチクル上の複数ヶ所にマークが設けられる場合、又はウェハ上のショット領域の複数ヶ所にマークが設けられる場合アライメント系12はそれらマークの位置に対応して複数ヶ所に配置されている。レチクルマーク、又はウェハマークの光電検出は、マーク検出系14によって行なわれる。

さて、レチクルのパターン領域の像は投影レンズ系16を介してウェハW上予め形成されたチップ領域CPに結像投影される。ウェハWはx、y方向に移動するウェハステージ26上に載置されるが、このウェハステージはy方向に移動するYステージ26y、Yステージ26y上をx方向に移動するXステージ26x、Xステージ26x上で投影光軸方向(Z方向)に微動するZステージ26zで構成される。Zステージ26z上には、

ト系と、投影レンズ系16の直近に別設されたオフ・アクシス方式のアライメント系24とを備えている。

また第3図には示していないが、特開昭60-78454号公報に開示されているのと同様に、ウェハWの表面の高さ位置を高分解能で検出する斜入射光式フォーカスセンサーが設けられ、Zステージ26zとともに、投影レンズ系の最良結像面とウェハ表面とを常に合致させる自動焦点合わせ機構として動作する。

ここで第3図の構成における照明光学系4と投影レンズ系16との光学的な関係及びレチクル上の代表的なパターンの結像の様子を第4図を用いて説明する。照明光学系4は、投影レンズ系16の瞳EP内に2次光源像(面光源)を投射するように構成され、所謂ケーラー照明法が採用される。瞳EPの大きさに対して、面光源像はわずかに小さくなるように設定されている。ライン・アンド・スペース(L/S)状のパターンP。を有するレチクルRの1点に着目してみると、この点に到

レーザ干渉計30x、30yからのレーザビームを反射する移動鏡28x、28yが互いに直角に固定されている。またZステージ26zには、ウェハWとほぼ同じ高さになるように基準マークFMが固定されている。Xステージ26x、Yステージ26yの各軸方向の駆動はモータ27x、27yで行なわれる。ここで投影レンズ系16には、結像補正機構18が組み込まれ、露光光の入射によるエネルギー蓄積状態、環境条件等によって変動する投影レンズ系16の光学特性(倍率、焦点、ある種のディストーション等)を時々刻々自動的に補正している。この結像補正機構18は、例えば特開昭60-78454号公報に詳しく開示されているので、ここでは説明を省略する。また、このステッパーには、レチクルステージ6の下から投影レンズ系16のみを介してウェハW上のマークを検出するアライメント光学系20と、このアライメント光学系20で検出されたマーク光情報を光電検出するマーク検出系22とで構成されたTTL(スルーザレンズ)方式のアライメン

達する照明光ILには、ある立体角 $\theta_r/2$ が存在する。この立体角 $\theta_r/2$ はパターンP。を透過した後も保存され、0次光の光束D₀として投影レンズ系16に入射する。この照明光ILの立体角 $\theta_r/2$ は、照明光の開口数とも呼ばれている。また投影レンズ系16が両側テレセントリック系であるものとする、レチクルR側とウェハW側の夫々で、瞳EPの中心(光軸AXが通る点)を通る主光線 ℓ は光軸AXと平行になる。こうして瞳EPを通った光束はウェハW側で結像光束IL₁となってウェハW上の1点に結像する。この場合、投影レンズ系16の縮小倍率が1/5であると、光束IL₁の立体角 $\theta_w/2$ は $\theta_w = 5 \cdot \theta_r$ の関係になる。立体角 $\theta_w/2$ はウェハW上での結像光束の開口数とも呼ばれている。また投影レンズ系16単体でのウェハ側の開口数は、瞳EPいっぱい光束を通したときの光束IL₁の立体角で定義される。

さて、パターンP。がL/S状であるために、0次光D₀以外にも1次以上の高次回折光D₁、

D_{12} 、……が発生する。これらの高次光には、0次光束 D_{10} の外側に広がって発生するものと、0次光束 D_{10} の内側に分布して発生するものとがある。特に0次光束 D_{10} の外側に分布する高次光の一部は、例えば投影レンズ系16に入射したとしても瞳EPでけられることになり、ウェハWへは達しない。従って、より多くの高次回折光を結像に利用するとすると、瞳EPの径をできるだけ大きくすること、すなわち投影レンズ系16の開口数($N.A.$)をさらに大きくしなければならない。あるいは、照明光ILの開口数(立体角 $\theta_r/2$)を小さくすること(面光源像の径を小さくすること)で、パターンP₀からの高次光 D_{11} 、 D_{12} 等の広がり角を小さく押えることも可能である。ただしこの場合、ウェハW側での0次の結像光束IL₀の開口数(立体角 $\theta_w/2$)を極端に小さくしてしまうと、本来の解像性能を損うことになる。さらに元来、パターンP₀のピッチやデュエティによって高次光の回折角は一義的に決まってしまうので、仮りに照明光ILの立体角 $\theta_r/2$

を零に近づけることが可能だとしても、高次回折光のうちのある次数以上は瞳EPでけられることになる。もちろん立体角 $\theta_r/2$ が零に近いと、パターンの結像そのものが困難となる。

ところで、第3図においては4枚のレチクルR₁～R₄が同一のレチクルステージ6上に載置され、そのうち任意の1枚のレチクルの中心が投影レンズ系16の光軸AX上に位置するように交換可能である。この交換時の各レチクル位置決め精度は、レーザ干渉計10を用いているため、極めて高精度(例えば $\pm 0.02 \mu m$)にできる。このため、4枚のレチクルR₁～R₄の相互の位置関係を予め精密に計測しておけば、レーザ干渉計10の座標計測値のみに基づいてレチクルステージ6を移動させることで各レチクルを位置決めできる。また各レチクルR₁～R₄の相互位置関係を予め計測しない場合であっても、各レチクル毎にアライメント系12、マーク検出系14、基準マークFM等を用いて精密に位置決めすることができる。

尚、Zステージ26zを露光動作中に上下動させる多焦点露光法の代りに、結像補正機構18を用いて、投影レンズ系16そのものの最良結像面(レチクル共役面)を上下動させることも考えられる。この場合、特開昭60-78454号公報に開示されているように、結像補正機構18は投影レンズ系16内の密封されたレンズ空間内の気体圧力を調整する方式であるので、本来の補正のための圧力調整値に、結像面を $\pm 0.5 \mu m$ 程度上下動させるためのオフセット圧力値を露光動作中に加えればよい。この際、圧力オフセットによって焦点面のみを変動させ、倍率やディストーション等は変動させないようなレンズ空間の組み合わせを選定する必要がある。

さらに、投影レンズ系16が両側テレセントリックであるときには、レチクルを上下動させることで、同様に最良結像面の高さ位置を変化させることもできる。一般に縮小投影の場合、像側(ウェハ側)での焦点ずれ量は、物体側(レチクル側)の焦点ずれ量に換算すると、縮小倍率の2乗

で決まってくる。このため、ウェハ側で $\pm 0.5 \mu m$ の焦点ずれが必要なとき、縮小倍率を $1/5$ とすると、レチクル側では $\pm 0.5 / (1/5)^2 = \pm 12.5 \mu m$ となる。

本実施例では、以上のように、結像面そのものを光軸方向に上下動させる方式の代りに、投影レンズ系16に積極的に球面収差を与えるようにし、実用上の焦点深度を拡大させるようにした。このため露光動作中に付随的に行なわれる多重焦点制御のための機械的な駆動等をほとんど不要とした露光方式が採用できる。

次に本発明の実施例を具体的に説明するが、ここでは多重焦点露光法のようにウェハ面と最良結像面を相対的に光軸方向に移動させる必要がない程度、もしくは移動させてもその量が少なく済む程度に、投影レンズ系そのものの焦点深度を広げる例を説明する。

第1図は投影レンズの瞳EPよりもウェハ側の部分を模式的に表わしたものであり、複数枚のレンズ素子は1つのレンズ系Gで代表してある。

投影レンズの光軸AXが所定の像面IPと垂直であるものとする、像面IP内で光軸AXから離れた点に結像する光束は、全て瞳EP（開口絞り面）の中心を通る主光線La、Lbに沿って進む。主光線La、Lbはテレセントリック系であることから、像面IP上では光軸AXと平行である。像面IP内の1点に結像する光束の開口数(N.A.)は瞳EPの有効径で制限されるが、瞳EP内で最も外側を通る光線を ℓ_1 、瞳EP内で光線 ℓ_1 よりも内側を通る光線を ℓ_2 としたとき、光線 ℓ_1 による結像点（像面IP）と光線 ℓ_2 による結像点との光軸方向の偏差 ΔZ_h が球面収差である。従来の投影レンズでは、この球面収差が無視できる程度に小さく押えられていた。本実施例では、この球面収差をある程度発生させるようにレンズ設計を行なう。

この際、主光線La、Lbに関して対称な光線 ℓ_1 による結像点と、光線 ℓ_2 による結像点とは、必ず主光線La、Lb上にできるように補正する。すなわち、像面上で非対称となる非点収差、

に比較してコントラスト特性は低下するが、実用上、特定のL/Sパターンでのコントラスト特性はほぼ無収差の投影レンズの60%程度までに低下させても良好な露光が可能であり、従ってコントラスト特性は多少悪化するものの、その代りに広い焦点深度を確保することができる。

ここで像コントラストとは、例えば第4図に示したL/S状のパターンP。を適正露光量及びベストフォーカス位置（ウェハ表面が第1図中の ΔZ_h の真中に位置した状態）で、ウェハW上のレジスト層に焼き付けた後、そのパターン像を現像したときに得られるレジストパターン上でのライン幅とスペース幅との比と考えてよい。通常レチクル上に形成するパターンP。はライン幅とスペース幅とが1対1であるため、レジストパターン上でのライン幅 D_ℓ とスペース幅 D_s とを計測装置等で計測し、その比、 D_s/D_ℓ （又は $D_\ell/(D_\ell + D_s)$ ）、 $D_s/(D_\ell + D_s)$ を求めればよい。

一方、ある開口数(N.A.)で設計される投

影レンズは発生させないように設計しておく。

ここで光線 ℓ_1 、 ℓ_2 は、瞳EPの中心（主光線La、Lbと光軸AXが交わる点）からの距離hで定義できる。そこで像面内の1点における球面収差 ΔZ_h を距離hをパラメータとして表わすと、第2図のような収差特性になる。特性CV₁は一般的な球面収差特性を示し、特性CV₂は他の形状を示す。特性CV₁になるか、特性CV₂になるかは収差の補正の方法によって決まり、一義的には決まらない。

この第2図の特性CV₁、CV₂で、収差の幅 ΔZ_1 、 ΔZ_2 が、像面上の各点における球面収差量と呼ばれるものである。本実施例では従来の投影レンズよりも、この幅 ΔZ_1 、又は ΔZ_2 を大きくすることで焦点深度の増大を計るようにした。この幅 ΔZ_1 、又は ΔZ_2 は、露光すべきパターンの線幅、ラインアンドスペースパターンのピッチ、及びベストフォーカス点でのコントラスト特性等によって最適値を決める必要がある。このような球面収差をもたせる場合、無収差レンズ

影レンズについては、球面収差が最も少なく、かつコントラストも大きくなるように設計し、このような無収差のもとで、レジスト層の特性も考慮して焼き付け後の像（レジスト）コントラスト（理想的なコントラスト）をシミュレーション等で求める。そのシミュレーションの後、理想的なコントラストを60～80%程度に低下させるまで球面収差のみを増していく再シミュレーションを行なう。

以上、本実施例によれば、第4図のようにL/S状のパターンP。を想定して考えた。このことを第1図に対応してみても、第4図中に示した高次回折光 D_{11} 、 D_{12} 等は、投影レンズ系16の瞳EP面において、瞳中心から離れた領域を通ることになる。従って、瞳中心部分に集中して通る0次光 D_{00} の結像点と、0次光 D_{00} の外側に広がる高次回折光 D_{11} 、 D_{12} 等の結像点とは、球面収差量 ΔZ_h の分だけ光軸AX方向にずれることになる。

このため、パターンP。からの結像光束は、ウ

エハW上において、より高次の回折光（瞳EPの周辺を通る光）によって見かけ上の焦点深度を拡大されていると考えてもよい。もちろん、瞳EP内の0次光 D_{00} のサイズ（2次光源像の大きさ）が大きければ、0次光 D_{00} による結像光束のみで見かけ上の焦点深度の拡大に寄与する。

〔発明の効果〕

以上の様に本発明によれば、コントラストを低下させても焦点深度が増大するので、IC製造上、焦点深度が増大する効果がある。

また、同一のN.A.をもち、照明系の σ 値

（瞳EP内での2次光源面の割合）を一定にした投影レンズに比較して、深度が増大するので、多重焦点露光方法のように同一点で複数回の露光をくり返し、スループットの低下を生じることもない。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の実施例における原理を説明する図、第2図は球面収差特性の一例を示すグラフ、第3図は本発明の実施例が適用される縮小投影露

光装置の構成を示す斜視図、第4図はレチクル上のパターンの結像の様子を模式的に示す図である。

〔主要部分の符号の説明〕

4…照明系、

G, 16…投影レンズ系、

R, R_1 , R_2 , R_3 , R_4 …レチクル

P_A …ラインアンドスペース状パターン、

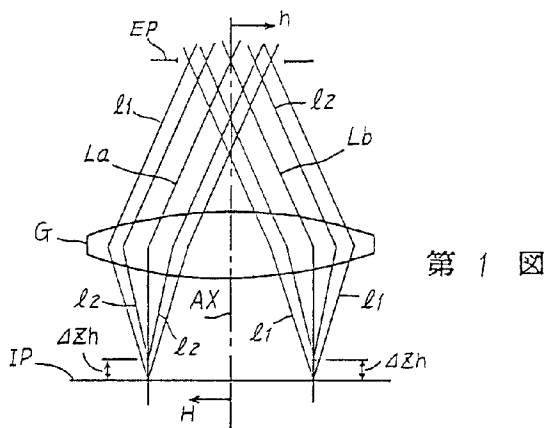
W…ウェハ、

EP…瞳、

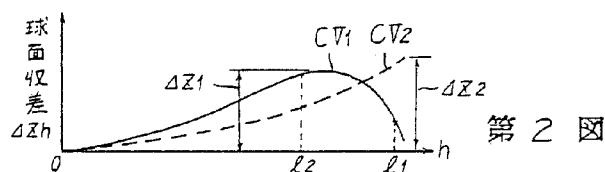
ΔZ_h …球面収差量

出願人 株式会社 ニコン

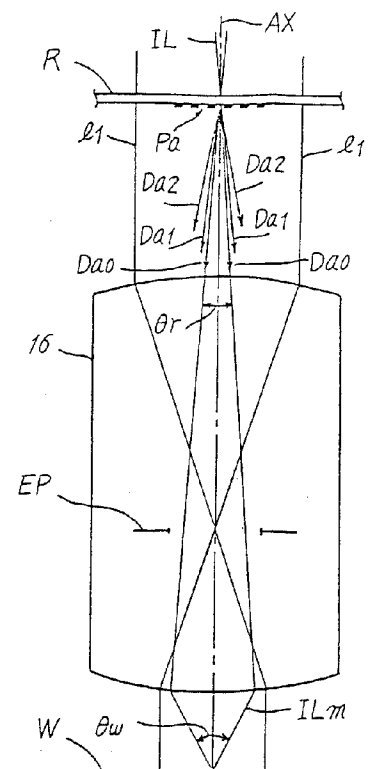
代理人 渡 辺 隆 男



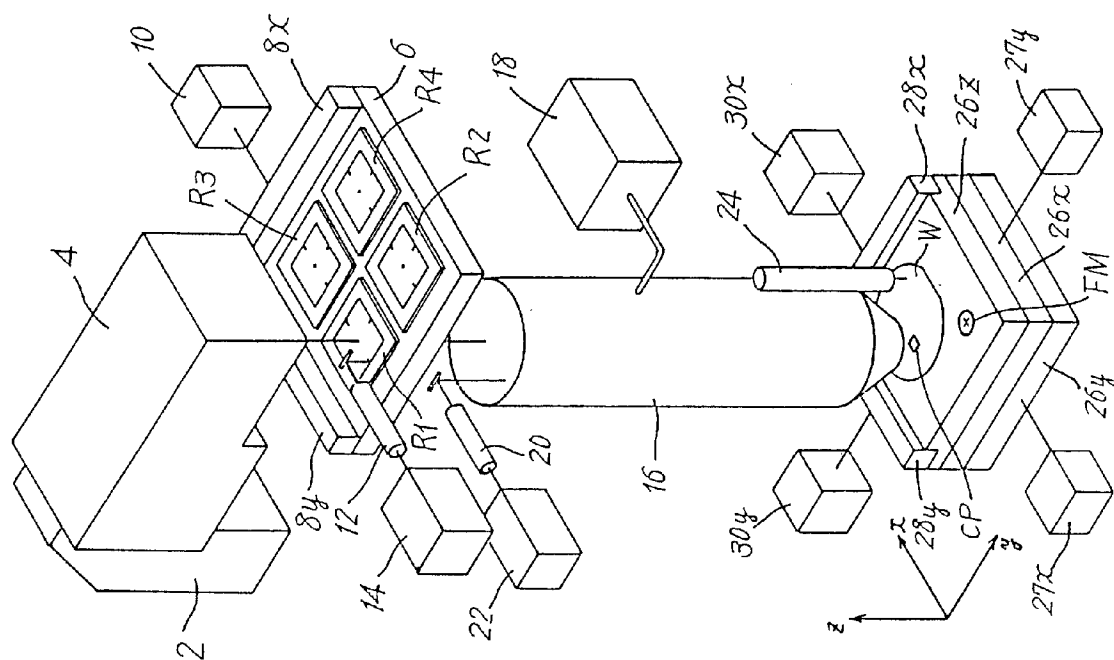
第1図



第2図



第4図



第3図

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 02-234411

(43)Date of publication of application : 17.09.1990

(51)Int.Cl.

H01L 21/027
G03F 7/20

(21)Application number : 01-054471

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing :

07.03.1989

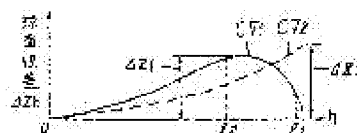
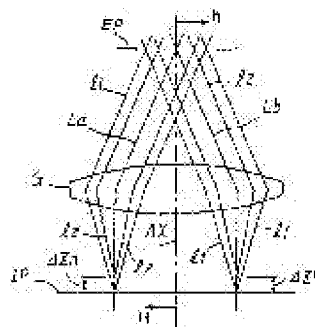
(72)Inventor : SUWA KYOICHI

(54) PROJECTION EXPOSURE APPARATUS

(57)Abstract:

PURPOSE: To transfer fine patterns without extreme increase of the number of openings of a projection optic system and extreme reduction in wavelength of illuminating light by a method wherein the projection optic system for projection exposing a mask pattern on a wafer is provided with specific spherical aberration characteristics in advance.

CONSTITUTION: When a light beam which passes through the most outward part in an iris EP is assumed to be I1 and a light beam which passes through the most inward part is to be I2, deflection δ Zh along an optical axis between a focus with the light beam I1 (on image surface IP) and that with the light beam I2 is spherical aberration. This spherical aberration is made to be generated to a certain degree. In other words, where widths of aberration $\delta Z1$, $\delta Z2$ with characteristics CV1, CV2 are spherical yields on the respective points on the image surface, focus depth can be increased by increasing the width $\delta Z1$ or $\delta Z2$. Although contrast characteristics slightly deteriorate by the above operation, wide focus depth can be secured, thereby enabling transfer of fine patterns without increase in the number of openings and reduction in wavelength of the light.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of

rejection]

[Kind of final disposal of application other
than the examiner's decision of rejection or
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office